

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-101178

(43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.Cl.

H01S 3/16

(21)Application number : 10-265975

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 21.09.1998

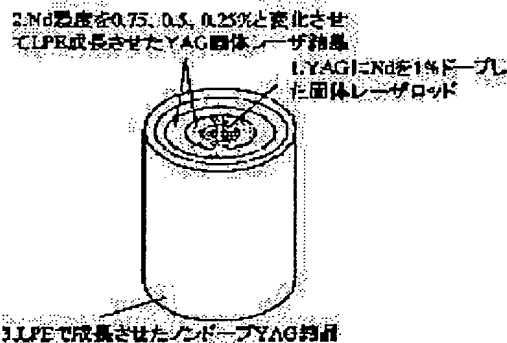
(72)Inventor : KOUDA HIKARI

(54) SOLID-STATE LASER MATERIAL AND SOLID-STATE LASER ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a solid-state laser material for stably outputting a high quality laser beam by reducing heat which is generated in the solid-state laser material during the oscillation of a laser and suppressing the heat lens effect.

SOLUTION: An Nd: YAG laser rod is one of solid-state laser materials and is provided with a laser rod body 1, that is made of a YAG crystal being formed by adding Nd that is an active element with a concentration of 0.1%, a three-layer Nd-doped YAG crystal film 2 containing Nd with a lower concentration of 0.75, 0.5 and 0.25% than the Nd concentration of the laser rod body 1, and an outermost film 3 that is made of an Nd non-doped YAG crystal film. Then, a multilayer film formed around the laser rod body 1 is provided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.09.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 29.11.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-101178

(P2000-101178A)

(43)公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51)Int.Cl.

H01S 3/16

識別記号

FI

H01S 3/16

ターコード(参考)

5F072

審査請求 有 請求項の数9 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願平10-265975

(22)出願日 平成10年9月21日(1998.9.21)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 古宇田 光

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100096231

弁理士 稲垣 清

Fターム(参考) 5F072 AB01 AK01 AK10 JJ20 TT22

(54)【発明の名称】 固体レーザー材料及び固体レーザー素子

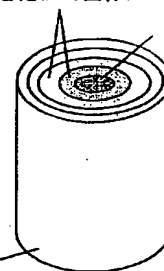
(57)【要約】

【課題】 レーザ発振中に固体レーザー材料に発生する熱を低減して熱レンズ効果を抑制し、高品質なレーザービームを安定して出力することの出来る固体レーザー材料を提供する。

【解決手段】 本Nd:YAGレーザーロッドは、本発明に係る固体レーザー材料の一つであって、活性元素であるNdを1.0%の濃度で添加して形成したYAG結晶からなるレーザーロッド本体1と、それぞれ、レーザーロッド本体1のNd濃度よりも低い、0.75%、0.5%、及び0.25%濃度でNdを含む、3層のNdドープ・YAG結晶膜2と、Ndノンドープ・YAG結晶膜からなる最外膜3とを有して、レーザーロッド本体の周りに成膜された多層膜とを備えている。

2.Nd濃度を0.75、0.5、0.25%と変化させてLPE成長させたYAG固体レーザー結晶

1.YAGにNdを1%ドープした固体レーザーロッド



3.LPEで成長させたノンドープYAG結晶

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガーネット構造を持つレーザ母結晶に、活性元素であるNdを1.2原子%以下0.1原子%以上の濃度で添加して形成したレーザロッド本体と、レーザロッド本体のNd濃度よりも低い濃度でNdを含む、少なくとも2層のNdドーブ・ガーネット結晶膜と、Ndノンドーブ・ガーネット結晶膜からなる最外膜とを有し、レーザロッド本体の周りに成膜された多層膜とを有することを特徴とする固体レーザロッド。

【請求項2】 多層膜中のNdドーブ・ガーネット結晶膜のNd濃度は、レーザロッド本体から外方に向けて膜毎に順次Ndの濃度が低くなることを特徴とする請求項1に記載の固体レーザロッド。

【請求項3】 多層膜中のNdドーブ・ガーネット結晶膜の各々は、液相エピタキシャル法によりレーザロッド本体の周りに成長させた膜厚500 μ m以下50 μ m以上の膜であることを特徴とする請求項1又は2に記載の固体レーザロッド。

【請求項4】 請求項1から3のうちのいずれか1項に記載の固体レーザロッドを備えることを特徴とする固体レーザ素子。

【請求項5】 活性元素を添加していないノンドーブのガーネット構造を持つレーザ母結晶からなる基板と、濃度が膜毎に徐々に高くなるように活性元素であるYbを添加して、基板の上に設けられた、少なくとも2層のガーネット結晶膜とを有することを特徴とするディスク型固体レーザ材料。

【請求項6】 ガーネット結晶膜は、液相エピタキシャル法を用いて成長させた膜厚500 μ m以下50 μ m以上の膜であることを特徴とする請求項5に記載のディスク型固体レーザ材料。

【請求項7】 請求項5又は6に記載のディスク型固体レーザ材料でレーザ母体が構成されていることを特徴とする固体レーザ素子。

【請求項8】 請求項1から3のうちのいずれか1項に記載のレーザロッドの作製方法であって、レーザロッドを熱処理して、液相エピタキシャル成長させた多層膜の膜同士の界面で活性元素濃度を熱拡散させる工程を備え、ステップ状であった活性元素濃度の濃度勾配を緩やかにすることを特徴とするレーザロッドの作製方法。

【請求項9】 請求項5又は6に記載のディスク型固体レーザ材料の作製方法であって、ディスク型固体レーザ材料を熱処理して、液相エピタキシャル成長させたガーネット結晶膜同士の界面で活性元素濃度を熱拡散させる工程を備え、ステップ状であった活性元素濃度の濃度勾配を緩やかにすることを特徴とするディスク型固体レーザ材料の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザロッド及びディスク型固体レーザ材料に関し、更に詳細には、レーザ発振中にレーザ材料に発生する熱を効率良く除去し、熱レンズ効果を抑制して高品質なレーザビームを出力することが出来るレーザロッド、及びディスク型固体レーザ材料及びその作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 固体レーザは、母体である結晶、ガラスなどの中に、増幅媒体となる希土類イオン、遷移金属イオン等をドーブしたレーザで、光ポンピングにより励起される。即ち、固体レーザ材料にドーブされたレーザ活性元素は、フラッシュランプ又はレーザダイオード等で励起されて発光し、発光したレーザ光を共振器で共振させることにより、レーザ発振が生じる。レーザ発振中、レーザ活性元素が吸収する光のエネルギーは、全てレーザ光のエネルギーにはならず、一部は熱となる。そのため、レーザ材料は、レーザ発振中に発熱し、温度が上昇する。レーザ材料の温度は、発振に寄与している中心部分が一番高くなり、その周りに向かって温度は低くなる。

【0003】 温度によって屈折率が変化するので、温度差が生じると、レーザ材料中に屈折率分布が生じ、レーザ材料中を進行するレーザ光は、直進出来ない。これを熱レンズ効果と呼んでいる。この熱レンズ効果を抑制するためには、レーザ材料を極力均一に冷却する必要がある。冷却手段としては空冷、水冷、電子冷却が用いられているが、これらだけでは十分で無いため、熱レンズ効果をさらに抑制する方法が必要である。

【0004】 この抑制方法として、いくつかの提案が報告されている。例えば、活性元素を添加（ドーブ）したレーザロッドの回りに活性元素を含まない（ノンドーブ）層を設け、レーザ材料中に励起光源によって熱が発生しない層を設けることにより、ドーブ層の熱を効率良く除去しようとする方法（特開昭62-140483号公報）が提案されている。

【0005】 また、レーザ材料中に金属元素をあらかじめドーブ又は拡散させて屈折率分布を持たせ、熱の発生で生じた屈折率分布を補償しようとする発明も提案されている（特開平5-102593号公報）。また、活性元素を添加したレーザ材料と添加しないレーザ材料を張り合わせたり、又は熱圧着したりして得た複合材料を使用し、効率良く結晶を冷却する方法も発明されている（U.S. Patent Nos. 5,441,803 and 5,563,899、実開平5-69963号公報）。

【0006】 また、ファイバーレーザ用のレーザ材料では、ノンドーブ結晶中に穴を開けてコアとなるドーブ結晶を挿入して一体化する方法（特願昭63-085152号）、また、この一体化したファイバーレーザ材料を部分的に融解し、そこから引上げ育成することにより、

クラッドコアの形状を持つ単結晶ファイバを製造する方法（特願平3-149504号）が提案されている。さらに、レーザロッド中に活性元素の濃度勾配を設けて熱レンズ効果を低減する方法が提案されており（特開昭59-227176号公報）、濃度勾配をつける方法としては、ガラスレーザ材料の場合はゾルゲル法を用いた作製方法（特開平6-140696号公報）がある。

【0007】YAGレーザロッドの場合は、2重坩堝による引上げ法により育成した結晶を熱拡散させる方法（特開平7-307508号公報）、また、レーザロッドを濃度の違う中空のレーザロッドに挿入することを繰り返して濃度勾配を実現する方法（特開平9-172217号公報）が提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述した提案を含めて従来の技術には、以下に挙げる種々の問題があった。第1の問題点は、活性元素をドープした固体レーザロッドの回りにノンドープ結晶を液層エピタキシャル法で成長させただけでは、界面での活性元素濃度差が急峻なため、格子歪みが大きく、レーザ発振中結晶に熱が発生すると、界面歪みやクラックが生じてしまうことである。

【0009】第2の問題点は、レーザ材料中の屈折率分布を変化させて熱レンズ効果を補償する方法は、あらかじめレーザ材料に発生する熱を測定し、それを補償するための屈折率変化を持つ結晶を育成しなければならず、レーザ材料の設計および作製行程が非常に困難なことである。また、屈折率を変化させることが困難な結晶も多いため、実現性が難しいレーザ材料が多い。

【0010】第3の問題点は、熱圧着又は接着材で接合されたドープ材料とノンドープレーザ材料とは、低レーザ出力では冷却効果に対して有効に作用するが、数十W級以上の高出力レーザの場合には、問題点1と同様に、界面での熱の発生が大きく歪み、クラックが生じてしまうということである。

【0011】第4の問題点は、提案されているノンドープクラッド層とドープコア層のファイバーレーザ材料でも、問題点1、2と同様の界面歪みの問題があり、またW級以上のレーザ出力を実現することは困難であるということである。

【0012】第5の問題点は、濃度勾配を持つレーザロッドの作製方法に関し、ゾルゲル法では単結晶の作製を行うことが出来ないということである。また、2重坩堝による引上げ法により2種類の融液から結晶を育成することは、融点等が異なるため、現実的には不可能である。また、中空のロッド中に挿入する方法は、ロッド内壁の面を光学研磨することが非常に困難であり、また、挿入させるためには、穴径を挿入ロッドより大きくすることが必要であり、従って、中空ロッドの内壁と挿入ロッドの外壁を完全に密着させることは出来ないということである。

ある。

【0013】第6の問題点は、ドープ層とノンドープ層の2層に熱を加えて拡散させて、活性元素の濃度勾配を実現する方法では、活性元素の拡散スピードが、非常に遅く、現実的には、拡散する層は、1mm以下に限られており、ロッド全体を適当な濃度勾配にすることは難しいということである。

【0014】第7の問題点は、近年注目されているYbドープのレーザダイオード励起用のディスク型レーザ材料では、0.2~1mm程度の厚さの結晶又はその結晶にノンドープの結晶を熱圧着した結晶が用いられているものの、さらに結晶の厚さを薄くし、かつ熱レンズ効果を抑制できるレーザ材料が望まれていて、その際には、研磨では厚さ100 μm 程度に加工するのが限界であるということである。

【0015】上述のように、従来発明されている固体レーザ材料の作製方法では、問題が多く、これらのレーザ材料を用いても、発振時に十分にレーザ材料を冷却することが出来ないため、効率良く熱レンズ効果を低減することができなかった。そこで、効率良く熱レンズ効果を低減できる固体レーザ材料の開発が強く望まれていた。

【0016】そこで、本発明の目的は、レーザ発振中に固体レーザ材料に発生する熱を低減して熱レンズ効果を抑制し、高品質なレーザビームを安定して出力することの出来る固体レーザ材料及び固体レーザ素子を提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】ガーネット構造を持つ単結晶は、固体レーザ材料の母結晶として非常に優れている。この結晶には、最大で1.2%のNd活性元素をドープすることができる。そこで、本発明に係るレーザロッド（以下、第1の発明と言う）は、ガーネット構造を持つレーザ母結晶に、活性元素であるNdを1.2原子%以下0.1原子%以上の濃度で添加して形成したレーザロッド本体と、レーザロッド本体のNd濃度よりも低い濃度でNdを含む、少なくとも2層のNdドープ・ガーネット結晶膜と、Ndノンドープ・ガーネット結晶膜からなる最外膜とを有して、レーザロッド本体の周りに成膜された多層膜とを有することを特徴としている。

【0018】ガーネット構造を持つレーザ母結晶に活性元素を1.2%以下の濃度でドープした固体レーザロッドの回りに活性元素濃度が徐々に低くなる膜を1層以上厚さ500 μm 以下50 μm 以上になるように液相エピタキシャル法で成長し、最外の冷却媒体と接触する膜はノンドープ層とする。このようにして作製した固体レーザ材料は、層界面において、活性元素濃度差が小さいので、結晶中の格子不整合等による結晶欠陥が少なく、熱膨張率差も小さい。そのため、レーザ発振中に界面でのクラック発生やカラーセンターによる着色、熱歪みが

生じることが無いため冷却効果が大きく、熱レンズ効果を抑制することが出来る。

【0019】ガーネット構造をもつレーザ結晶にYbを活性元素として添加したディスク型レーザ材料は高効率発振用レーザ材料として着目されている。この材料は発振時にディスク全体を効率良く冷却するために極力薄いものが求められている。また、Yb元素はガーネット結晶に最大で20%ドーピングさせることが出来る。そこで、本発明に係るディスク型固体レーザ材料（以下、第2の発明と言う）は、活性元素を添加していないノンドープのガーネット構造を持つレーザ母結晶からなる基板と、濃度が膜毎に徐々に高くなるように活性元素であるYbを添加して、基板の上に設けられた、少なくとも2層のガーネット結晶膜とを有することを特徴としている。

【0020】本発明ではノンドープのガーネット基板に液相エピタキシャル成長でYbを添加した100 μ m以下の薄膜を形成することが可能であり、さらに薄膜中の活性元素に濃度勾配を持たせることで各層界面の格子歪みが小さく、熱が生じた場合のクラックの発生等を抑制することができる。

【0021】このディスク型結晶は、励起光が活性元素をドーピングした層だけに吸収されて、ノンドープ層からは効率良く冷却することが可能となるため、熱レンズ効果を抑制することが可能となる。

【0022】これらの液相エピタキシャル法で異なる活性元素濃度の膜を数層成長したレーザロッドおよびディスク型レーザ材料を熱処理することにより、活性元素が熱拡散してステップ状の濃度勾配を滑らかな勾配に移行させることが可能となる。この場合は、濃度差による格子歪みがさらに緩和されるため、ステップ状の濃度勾配を持ったレーザ材料よりも冷却効率が向上し、熱レンズ効果を抑制することが出来る。

【0023】よって、本発明に係るレーザロッドの作製方法は、レーザロッドを熱処理して、液相エピタキシャル成長させた多層膜の膜同士の界面で活性元素濃度を熱拡散させる工程を備え、ステップ状であった活性元素濃度の濃度勾配を緩やかにすることを特徴とし、また、本発明に係るディスク型固体レーザ材料の作製方法は、ディスク型固体レーザ材料を熱処理して、液相エピタキシャル成長させたガーネット結晶膜同士の界面で活性元素濃度を熱拡散させる工程を備え、ステップ状であった活性元素濃度の濃度勾配を緩やかにすることを特徴とする。

【0024】レーザ発振中のレーザ材料を効率良く冷却し、熱レンズ効果を抑制する手段として活性元素を添加（ドーピング）した固体レーザロッドの回りに活性元素を含まない（ノンドープ）結晶を保持する固体レーザ材料方法が提案されていた。しかし、ドーピング結晶とノンドープ結晶の界面は格子不整合が大きいため歪みが残存し、熱を持つと歪みは大きくなってレーザモードが歪み、発振

レーザ出力が大きい場合は界面にクラックが生じてしまうという課題があった。また径方向に活性元素濃度差のある層を有する方法が提案されていたが、現実的に濃度差のある層を作製することが非常に困難であった。本発明では、ロッド型レーザ材料の周りおよびディスク型レーザ材料の面上に活性元素に濃度差のある膜を液相エピタキシャル法で数層成長し、最後の層は活性元素を含まないノンドープ層とすることで、ドーピング、ノンドープ部分の境界の歪みを除去することが可能となる。このレーザ材料は励起光の吸収によって発熱される部分の温度勾配を緩和し、高出力領域のレーザ光発生時においても効率良く結晶を冷却することが可能となり、熱レンズ効果を抑制して高品質のレーザビームを長期間安定して出力することができる。

【0025】以上のことにより、即ち、本発明により作製したレーザ材料は発振中に発生する熱を効率良く冷却できる構造を有するため熱レンズ効果を抑制することが出来、安定して高品質のレーザ光を出力することが可能となる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下に、実施形態例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。尚、以下の文中で、%表示は、特に断らない限り、原子%で表示している。図面中の%表示についても同様である。

実施形態例1

本実施形態例は、第1の発明に係るレーザロッドの実施形態の一例である。図1は、本実施形態例のNd:YAGレーザロッドの斜視図である。本実施形態例のNd:YAGレーザロッドは、図1に示すように、活性元素であるNdを1.0%の濃度で添加して形成したYAG結晶からなるレーザロッド本体1と、それぞれ、レーザロッド本体1のNd濃度よりも低い、0.75%、0.5%、及び0.25%濃度でNdを含む、3層のNdドーピング・YAG結晶膜2と、Ndノンドープ・YAG結晶膜からなる最外膜3とを有して、レーザロッド本体の周りに成膜された多層膜とを有する。

【0027】本実施形態例のNd:YAGレーザロッドを作製するには、まず、Ndを1%ドーピングした径7mm、長さ200mmのYAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット；Y₃Al₅O₁₂）レーザロッド1の周りにNdが0.75%ドーピングされたYAG膜をLPE法で厚さ100 μ m成長させる。成長後、更に、このレーザロッドの周りに、Ndが0.5%ドーピングされたYAG膜をLPE法で100 μ m成長させる。さらに、Nd濃度が0.25%のYAG膜を100 μ m成長させ、3種類の異なるNd濃度を持つYAG膜2を設ける。最後にノンドープのYAG膜3を200 μ m成長させることにより、Nd濃度差を設けたLPE成長多層膜を有するNd:YAGレーザロッドを作製することが出来る。

【0028】また、図1では、中間組成層2は、3層であるが、層数を増やして層間の活性元素の濃度差を小さく、層厚を薄くすることで、さらに熱レンズ効果を抑制した固体レーザ材料を作製することができる。

【0029】実施形態例2

本実施形態例は、第2の発明のディスク型固体レーザ材料の実施形態の一例であって、図2は本実施形態例の斜視図である。本実施形態例のYAGディスク型レーザ材料は、図2に示すように、活性元素を添加していないYAG結晶からなる基板4と、濃度がそれぞれ2、4、6、及び8%となるように活性元素であるYbを添加して、LPE法により成膜された4層の膜厚約5 μ mのYAG結晶膜5と、Ybを10%ドーピングさせたYAG結晶膜6とを備えている。

【0030】本実施形態例のYAGディスク型レーザ材料を作製するには、まず、直径20mm、厚さ100 μ mのYAGノンドープ基板4の上にYb濃度が2、4、6、8%となるように、LPE法で約5 μ mの4層の膜5を成長し、最後に、Yb濃度が10%のYAG6を20 μ m成長させる。これにより、活性元素をドーピングした層の厚さをトータルで40 μ mにすることが可能となる。40 μ mの厚さのディスク型レーザ材料を研磨して得ることは非常に困難であるため、本発明によるディスク型レーザ材料は、薄膜化に非常に有効となる。

【0031】また、高出力レーザ領域の応用においても、効果的に熱レンズ効果を抑制することが出来る。Ybは、Yとイオン半径が近いので濃度差が2%程度であっても、格子不整合量は小さく、界面での歪みは生じ難い。図2の例では、最大10%のYbで2%おきに膜を形成しているが、YAGは最大20%までYbを含有することができ、また、層数を多くして、層間の濃度差が小さくなる程、界面での歪みが小さくなるので、効率的に冷却でき熱レンズ効果を抑制することが出来る。

【0032】実施形態例3

本実施形態例は、第1の発明のレーザロッドの実施形態の別の例であって、図3はYAG固体レーザ材料の斜視図である。本実施形態例のレーザロッドは、実施形態例1のレーザロッドに熱処理を施したものであって、図1のNdのステップ状の濃度変化を持つYAGレーザロッドをYAGの融点である1930 $^{\circ}$ Cよりも200 $^{\circ}$ C低い1730 $^{\circ}$ Cで50時間加熱することにより、図3に示すNd元素の濃度勾配を持つYAGレーザロッドを作製することができる。このロッド8の半径方向のNd濃度勾配を調べたところ、図4(a)に示すように、膜を成長させた部分の半径方向のNd濃度は、1%から0%まで滑らかに変化していることがわかった。

【0033】このレーザロッドをフラッシュランプ励起でサイドから励起し、結晶の側面は約25 $^{\circ}$ Cの水で冷却した。発振波長1064nmレーザ光約1kW出力された場合の結晶の断面方向の温度勾配は図4(b)のよう

になり、中心から外側までの温度差は30 $^{\circ}$ Cであった。発振したレーザ光のビームプロファイルは、ガウシアンライクでビーム径は約4mm、熱レンズ効果によるビーム広がり角は100mradであった。100時間の連続運転を行っても、レーザの出力は $\pm 5\%$ 以内で安定し、ビームのモードも変化はなかった。

【0034】比較例1

本比較例は、実施形態例3のレーザロッドの比較例であって、Ndを1%ドーピングしたYAG9の上にLPE法でノンドープYAG10を500 μ m成長させたレーザロッドのNdの濃度勾配を図5(a)に示す。1%のNd濃度は、界面を境に0%に急峻に変化している。熱処理せずに図4と同様の発振実験を行った場合の断面の温度勾配を図5(b)に示す。1kW出力時の半径方向の温度勾配は、ドーピング層とノンドープ層の界面で急峻になっており、中心温度は周囲と80 $^{\circ}$ C違っていた。また、ビームプロファイルは、中心の強度分布にふらつきのあるトップハット形状となり、熱レンズ効果のために、ビーム広がり角は250mradであった。また、100時間出力を継続したところ、ドーピングノンドープの境界面にクラックが生じてしまい、レーザ材料は使用不可能になった。

【0035】実施形態例4

本実施形態例は、実施形態例2のディスク型固体レーザ材料に熱処理を施したものであって、図2のステップ状のYb濃度勾配をもつYAGディスク型レーザ材料を、約1800 $^{\circ}$ Cで50時間加熱してYbイオンを拡散させることにより、図6に示すように、Yb濃度が10~0%まで徐々に変化するディスク型のレーザ材料11を作製することが出来る。

【0036】ノンドープの冷却面12をパルチエ素子で約-50 $^{\circ}$ Cに冷却し、レーザダイオード(LD)で励起面13を励起して、アクティブミラー方式で発振実験を試みたところ、図7に示すように、発振しきい値は10Wで、そこから入力するレーザダイオードの出力に比例し、100W入力で50Wの発振出力が得られた。また、50W出力時もビームモードはTEM₀₀であり、熱レンズ効果によるビーム品質の劣化は無く、ビーム広がり角も各出力で5mradを保っていた。

【0037】比較例2

本比較例は、実施形態例4のディスク型固体レーザ材料の比較例であって、Ybが活性元素として10%ドーピングされている直径20mm、研磨で得られる最も薄い厚さの100 μ mのYAG結晶を用いて、実施形態例4と同様のアクティブミラー方式での発振実験を試みたところ、図8に示すように、50Wの入力から出力特性が飽和する傾向が見られ、80W入力時に、25Wの出力がピークであった。25W出力時の発振はマルチモードでビーム広がり角は20mradであり、熱レンズ効果でビーム品質が劣化していることがわかった。

【0038】

【発明の効果】第1の発明によれば、レーザロッド本体のNd濃度よりも低い濃度でNdを含み、かつ膜厚500 μ m以下の少なくとも2層のNdドーブ膜と、Ndノンドープの最外膜とを有する多層膜をレーザロッド本体の周りに設けることにより、レーザ発振中の固体レーザ材料に発生する熱を効率良く冷却することが出来る。また、レーザ材料中の温度勾配を抑制するため熱レンズ効果によるビーム広がり角、発振するレーザビームの品質が向上し、安定した高出力レーザを発振することができる。また、第2の発明によれば、活性元素を添加していないガーネット構造を持つレーザ母結晶の基板と、濃度が相互に徐々に高くなるように活性元素であるYbを添加して基板の上に設けられた、少なくとも2層のガーネット結晶膜とでディスク型固体レーザ材料を構成することにより、レーザ発振中の固体レーザ材料に発生する熱を効率良く冷却することが出来るレーザ材料を実現している。また、レーザ材料中の温度勾配を抑制するため熱レンズ効果によるビーム広がり角、発振するレーザビームの品質が向上し、安定した高出力レーザを発振することができるレーザ材料を実現している。本発明に係るレーザロッド又はディスク型固体レーザ材料を使用することにより、レーザ加工や光造形等に最適なレーザ装置を実現し、産業の発展に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】濃度差を設けてLPE成長した多層膜を有するNd:YAGレーザロッドの斜視図である。

【図2】Yb濃度勾配を有するYAGディスク型レーザ材料の斜視図である。

【図3】LPE成長後、熱処理して活性元素を熱拡散させたNdの濃度勾配を有するYAG固体レーザ材料の作

製方法を説明する図である。

【図4】Ndの濃度勾配を有するYAGレーザロッドの半径方向のNd濃度と発振時の温度を示す図である。

【図5】Nd:YAG上にノンドープYAG層を有するレーザロッドの半径方向のNd濃度と発振時の温度プロファイルである。

【図6】熱処理によりYb元素を拡散させたYbの濃度勾配を有するYAGディスク型レーザ材料を示す斜視図である。

10 【図7】0~10%の濃度勾配を有したYb:LuAGディスク型レーザ材料のアクティブミラー方式レーザの出力特性を示すグラフである。

【図8】Yb10%ドーブのYb:LuAGディスク型レーザ材料のアクティブミラー方式レーザの出力特性を示すグラフである。

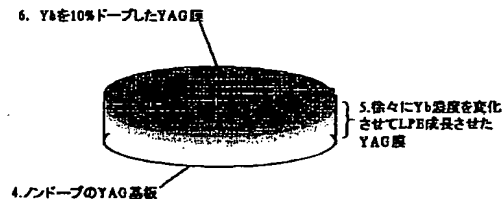
【符号の説明】

- 1 YAGにNdを1%ドーブした固体レーザロッド
- 2 Nd濃度を0.75、0.5、0.25%と変化させてLPE成長させたYAGレーザ結晶
- 20 3 LPE法で成長させたノンドープYAG結晶
- 4 ノンドープのYAG基板
- 5 徐々にYb濃度を変化させてLPE成長させたYAG膜
- 6 Ybを10%ドーブしたYAG膜
- 7 Nd活性元素0~1%の濃度勾配を持つ部分
- 8 Ndの濃度勾配を持つYAGレーザロッド
- 9 Ndを1%ドーブしたYAGレーザロッド
- 10 LPE法で成長したノンドープYAG
- 11 Ybが10%から0%まで変化している部分
- 30 12 冷却面
- 13 励起面

【図1】

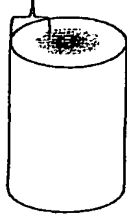


【図2】

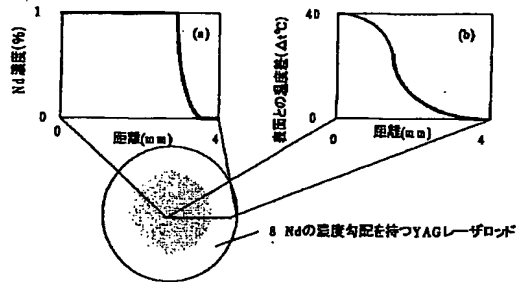


【図3】

7.Nd活性元素0~1%の濃度勾配を持つ部分

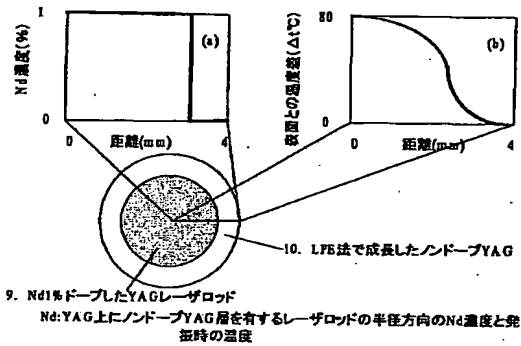


【図4】

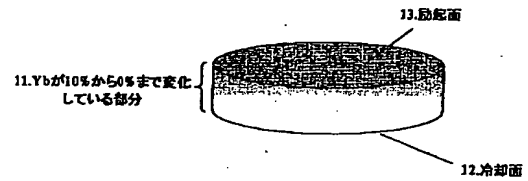


Ndの濃度勾配を有するYAGレーザーロッドの半径方向のNd濃度と発振時の温度

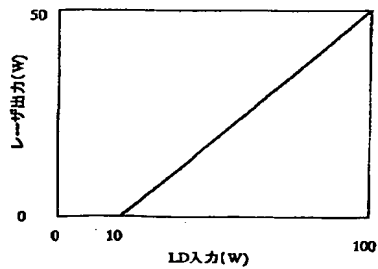
【図5】



【図6】

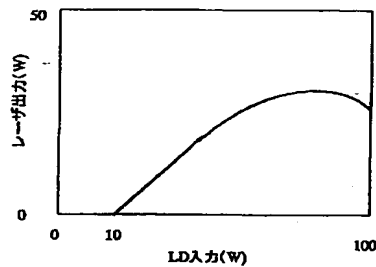


【図7】



0~10%の濃度勾配を有したYb:YAGディスク型レーザー材料のアクティブミラー方式レーザーの出力特性

【図8】



Yb10%ドープのYb:LaAGディスク型レーザー材料の7°タイプミラー方式レーザーの出力特性

BEST AVAILABLE COPY